

崔敏利,张宝林,梁光河,等.黄土覆盖区钼矿综合地球物理找矿技术组合:以沙坡岭钼矿为例.地球物理学进展,2010,25(2):602~611,DOI:10.3969/j.issn.1004-2903.2010.02.033.

Cui M L, Zhang B L, Liang G H, *et al.* The technical combination of comprehensive geophysical prospecting in the Molybdenum mines with loess-covered: A case study at the shapoling Molybdenum mine. *Progress in Geophys.* (in Chinese), 2010, 25(2):602~611, DOI:10.3969/j.issn.1004-2903.2010.02.033.

## 黄土覆盖区钼矿综合地球物理找矿技术组合: 以沙坡岭钼矿为例

崔敏利<sup>1,2</sup>, 张宝林<sup>1\*</sup>, 梁光河<sup>1</sup>, 蔡新平<sup>1</sup>, 高浩中<sup>1</sup>

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所矿产资源研究重点实验室, 北京 100029

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要** 覆盖区寻找隐伏矿成为当前找矿工作的热点问题,为了能在地表地质信息少的黄土覆盖区,寻找隐伏的有经济价值的矿床,本文以沙坡岭钼矿为例,综合应用 $\gamma$ 能谱、高精度磁法、高密度电法三种地球物理方法进行找矿勘探,辅以偏提取化探法对地球物理异常进行约束,结合地质资料进行解释,预测了有利的成矿区域,通过钻探得到了有效验证,初步建立了黄土覆盖区钼矿的综合地球物理找矿模式,为下一步的综合勘探打下了基础。

**关键词** 偏提取化探,伽玛能谱,高精度磁法,高密度电法,X荧光分析,综合地球物理找矿

DOI:10.3969/j.issn.1004-2903.2010.02.033

中图分类号 P631

文献标识码 A

## The technical combination of comprehensive geophysical prospecting in the Molybdenum mines with loess-covered: A case study at the shapoling Molybdenum mine

CUI Min-li<sup>1,2</sup>, ZHANG Bao-lin<sup>1\*</sup>, LIANG Guang-he<sup>1</sup>, CAI Xin-ping<sup>1</sup>, GAO Hao-zhong<sup>1</sup>

(1. Key Lab. of Mineral Resources, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences,

Beijing 100029, China; 2. Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract** Searching for the concealed deposits is a focused issue of the current prospecting in covered areas. In order to find out valuable concealed deposits in loess-covered areas with little geological information of the surface, taking the Shapoling Molybdenum Mine as an example, this paper presents how to use comprehensive geophysical prospecting methods including Gamma-ray survey, magnetic survey and high density resistivity method to conduct prospecting. The geophysical interpretation is made according to the partial extraction geochemical survey and the geological information. Then the promising mineralizing region is predicted and identified by the drilling. The comprehensive geophysical prospecting model of molybdenum mine with loess-covered is preliminarily set up, and the foundation is established for the following comprehensive exploration.

**Keywords** Partial extraction geochemical survey, Gamma-ray survey, Magnetic survey, High density resistivity method, X-ray fluorescence analysis, Comprehensive geophysical prospecting

收稿日期 2009-09-15; 修回日期 2009-11-20.

基金项目 国家重点基础研究规划 973 项目二级课题(2006CB403507)和国家“十一五”科技支撑计划重大项目(2006BAB01A02)联合资助。

作者简介 崔敏利,男,1981年生,汉族,中国科学院地质与地球物理研究所硕博连读生,从事隐伏矿床定位预测研究工作。

(E-mail: cuiminli5189@163.com)

\* 通讯作者 张宝林,男,1963年生,汉族,中国科学院地质与地球物理研究所研究员,从事隐伏矿床定位预测理论和技术方法研究。

(E-mail: blzhang@mail.iggcas.ac.cn)

0 引言

目前,易发现、易识别的地表露头矿越来越少,隐伏矿和深部矿成为找矿主体,找矿和勘查难度急剧增大,传统勘查技术日显其拙,找矿风险和探矿成本越来越大,找矿工作停滞不前,后备勘探基地日渐枯竭,资源枯竭矿山越来越多<sup>[1,2]</sup>.我国黄土覆盖区地下蕴藏着丰富的矿产资源,但由于技术落后,一直是找矿的空白区,如何在现有的理论和技术水平条件下,提高此类地区的找矿预测水平,是地质工作者面临的挑战.在地质找矿实践中,已经认识到进行分层次研究的必要,从而有普查、详查和勘探阶段的划分但对于地球物理方法而言,在控制矿产分布的深部地质环境分析方面很少应用,特别是对矿产区的宏观预测方面更未充分发挥作用<sup>[3]</sup>.在目前的找矿工作中,传统的找矿方法已经面临很多困难,正需要地球物理方法发挥它穿透性强、易实现、时效性强等优势.前人应用综合物理找矿勘探技术方法组合已经取得很多成功的例子<sup>[1~5]</sup>,但是对这种黄土覆盖区,地形复杂,沟壑纵横,地表矿化痕迹微弱的条件下找矿技术研究还很少.

本文选择洛宁沙坡岭钼矿作为黄土覆盖区综合地球物理找矿应用的一个典型实例.该矿床位于刘光鼎先生提出的“三横、两竖、两个三角”大地构造格架中的昆仑—秦岭—大别山重要成矿带<sup>[7]</sup>,该研究区有良好的成矿背景:从区域成矿条件看,该区位于燕山期侵入的花山岩体和金山庙岩体两个中生代岩体之间,是花岗岩与太古代深变质岩的接触部位,具有较好的成矿条件;具体到矿区范围内,地表热液蚀变强烈,多见绿帘石化和褐铁矿化,目前已发现一定的地球化学异常,是有很大潜力的找矿勘探靶区,但是地表黄土覆盖,地质情况复杂,几只找矿队伍进入该区工作,都没有取得突破.本文主要是在准确、快速、低成本的原则下,综合选取地球物理方法,结合地质、化探方法相互约束,针对黄土覆盖区对寻找Mo矿的实践经验的一些探讨.

1 矿床地质概况

研究区位于华北陆块的南缘,处于花山岩体和金山庙岩体中间,横跨龙脖—花山背斜,北面有洛宁山前大断裂,南面有NE向康山——七里坪蚀变构造带,受其次级构造影响,区内断裂构造发育.研究区被厚3~10 m的黄土覆盖,地表发育茂密的矮小灌木丛.地层岩性较单一,主要为太古界太华群,由

一套中深程度的区域变质岩及少量混合岩组成,主要岩性为角闪斜长片麻岩、斜长角闪岩及少量黑云斜长片麻岩.北侧有一变辉长岩体;东南侧是燕山期侵入的花岗岩体.

该区地表矿化信息很少,Mo矿化仅见于山谷冲沟中一处兴修水利工程炸开的新鲜基岩中的几条硅质细脉中,细脉最宽不到0.1 m,长约5~10 m,走向北北东,整体呈网脉状.细脉中零星几处可见Mo矿化呈细脉—细脉浸染状或者斑点状,矿化不连续,偶见辉钼矿集合体.

地表观察中发现了一种肉眼看上去像褐铁矿化的混合物,采取了两个样品制成粉末经过X射线衍射测试分析(见表1),一个含辉钼矿40%,一个含辉钼矿20%,证实了这种混合物含有钼矿物,而且与褐铁矿化混在一起,不容易引起注意,这也很可能是几支地勘队伍几进几出,都没有发现这个Mo矿的重要原因,这种混合物常见于地表零星出露的基岩上.

表1 X-荧光实验分析研究区样品矿物成分含量表  
Table 1 Mineral content of the samples in the study area  
by X-ray fluorescence analysis in the lab

样品号	辉钼矿	其它矿物	未知矿物
L-1	40%	石英 5%	30%
		角闪石 5%	
		黄钾铁矾 20%	
L-2	20%	针碱沸石 10%	10%
		针铁矿 60%	

(分析单位:中国科学院地质与地球物理研究所 X 射线衍射实验室)

2 物探方法的选择

按照“矿床结构模型”的找矿理论<sup>[6,8,9]</sup>,在具有良好成矿前景的地区,找矿工作的关键是搞清矿化蚀变带和控矿构造.研究区内钼的矿化属于细脉浸染型,与成矿流体活动密切相关,网脉在围岩中分布纷乱且不均匀,整体分布无具体形状,不同于单一脉体或者具一定形状的岩体矿化,只能通过间接手段布置勘探.工作区地形复杂、沟壑纵横、最大落差约300米,对地下结构和岩性特征不明,对物探方法的选择有很大的限制性.在广阔的工作区,为了圈定平面上的有利矿化区域,常用的地球物理扫面方法有重、磁、电和放射性测量,工作区的地形复杂道路崎岖,落差较大,变质岩区岩石本身密度不均匀,考虑到仪器的损坏性和后期数据处理的繁琐性这里放弃了重力扫面,由于覆盖的黄土含水性强,地下构造变形强烈,微型断裂构造密布,也不适合电法扫面开

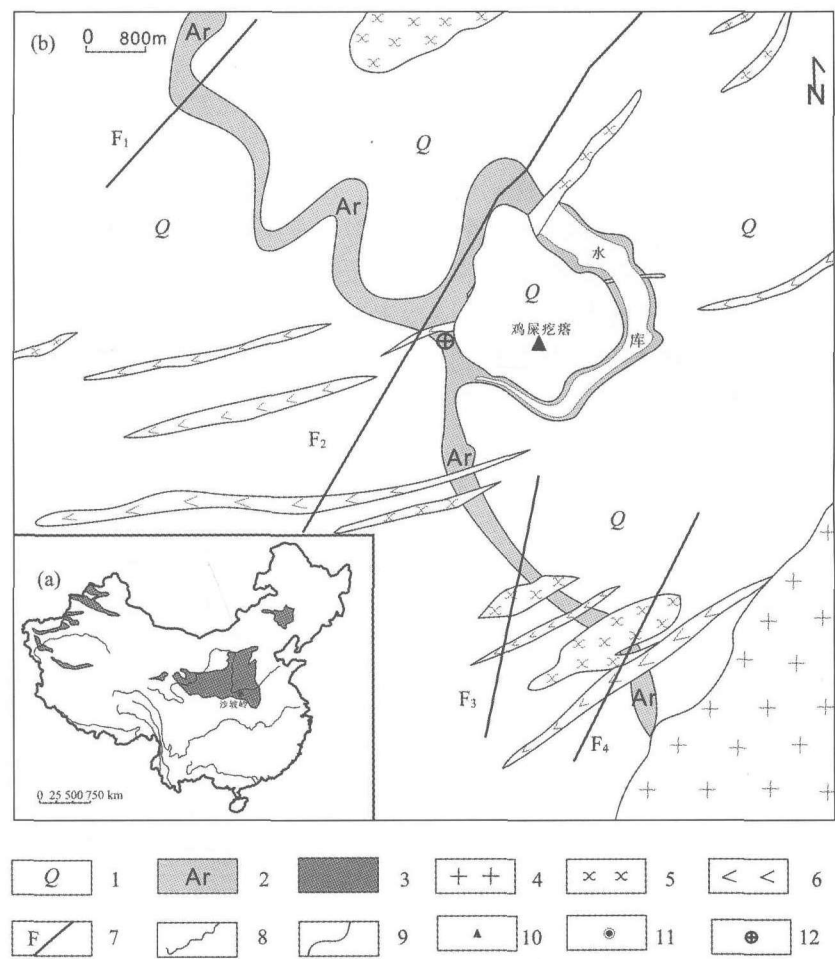


图 1 沙坡岭矿区位置图(a)和地质简图(b)

1. 第四系黄土;2. 太华群;3. 黄土覆盖区;4. 花岗岩;5. 变辉长岩;6. 斜长角闪岩;  
7. 断裂蚀变带;8. 河流;9. 地质界线;10. 山顶;11. 研究区所在地;12. Mo 矿化点

Fig. 1 Shapoling mine map location (a) and (b) geology

展. 通过区域地质研究,这个地区的成矿特点与成矿直接相关的就是热液蚀变带,针对热液蚀变带的扫面仪器,这里选用了高精度磁法测量和伽玛能谱测量.

高精度磁法测量的目的是探测矿区隐伏含矿构造和蚀变带,它具有轻便、精度高、成本低等特点<sup>[1,10,11,12]</sup>. 研究区岩性较单一,主要是角闪斜长片麻岩、斜长角闪岩及少量黑云斜长片麻岩. 这些岩石具较强磁性,矿区由于混合岩化、退化变质作用强烈,且大量的绢云母化、硅化及碳酸岩化热流蚀变集中在矿化较强的地段,致使岩石发生退磁,故低磁异常是矿化指示标志<sup>[3,11,12]</sup>,从而达到间接找矿的目的,研究区主要岩类磁性特征统计表<sup>[13]</sup>(见表 2).

伽玛能谱测量的目的是圈定成矿流体在地表的活动范围. 研究区可以看到很多硅化、钾化蚀变,采用伽玛能谱技术,通过测量地质体 U、Th、K 的含量

表 2 研究区主要岩类磁性特征统计表

Table 2 Magnetic properties of main rocks from the study area

岩类名称	主要岩性	标本总数	4πSI 变化范围	无磁性标本	
				n	%
变质岩	斜长角闪片麻岩、混合岩、角闪岩、黑云角闪片麻岩、变粒岩、大理岩等	689	0~6630	167	24.2
火山岩	安山(玢)岩、流纹岩、石英斑岩、安山玄武岩等	3733	0~14142	472	12.6
中酸性岩	花岗岩、黑云母角闪花岗岩、斑状黑云母花岗岩、花岗斑岩等	1310	0~3830	305	23.3
沉积岩	砂岩、砂砾岩、砾岩、粘土岩、白云岩	1465	0~微磁		

(引用自《华北地块南缘地质构造演化与成矿》,1997)

及其比值的异常来指示的是成矿流体场(蚀变场)的范围,确切地说,是地壳某一深度原始成矿流体场遭受剥蚀后残留的特征,其中最具指示意义的是钾含量和放射性总量<sup>[14~16]</sup>。

为了对地球物理方法取得的数据进行验证,并对数据针对成矿进行解释,这里采用了一种地球化学找矿方法——偏提取化探。这种方法也是化探找矿的常规方法,它的目标是直接捕捉钼矿化的次生晕,在地表地质信息较少的情况下,对地球物理异常数据的多解性进行约束验证。这种方法通过提取与金属矿体密切相关的离子态、胶体分散、微细粒矿物的扩散晕,从而指示隐伏金属矿。

对地下的情形一无所知,为了在纵剖面上圈定地下矿化有利成矿区域,在这种找矿阶段也很难对磁法和伽玛能谱数据进行有效的定量分析,研究区覆盖层厚度 3~10 m,目前采用电法剖面测深技术是最有效的方法。具备采用电法勘探的物性条件:细脉浸染型矿化与硫化物关系密切,石英细脉中含有较多的硫化物,具有低电阻高极化的典型特征,而围岩是角闪斜长片麻岩、斜长角闪岩及少量黑云斜长片麻岩,具有高电阻低极化率的特征。根据这种地质状况和矿床类型,推测地下浅部 100 m 内就有可能见矿,对地下 200 m 内的结构构造进行探测,在这种深度从勘探成本、精度以及分辨率考虑,最有效的就是高密度电法,在目前所有电法仪器中高密度电法相对于常规电阻率法而言,它具有以下特点:

(1)电极布设是一次完成的,这不仅减少了因电极设置而引起的故障和干扰,而且为野外数据的快速和自动测量奠定了基础。

(2)能有效地进行多种电极排列方式的扫描测量,因而可以获得较丰富的关于地电断面结构特征的地质信息。

(3)野外数据采集实现了自动化或半自动化,不仅采集速度快(大约每一测点需 2~5 s),而且避免了由于手工操作所出现的错误。

(4)可以对资料进行预处理并显示剖面曲线形态,脱机处理后还可以自动绘制和打印各种成果图件。

(5)与传统的电阻率法相比,成本低、效率高,信息丰富,解释方便,勘探能力显著提高<sup>[17~21]</sup>。本次工作是通过它探测地下电性分布,寻找高极化,低电阻区域,确定控矿、容矿构造。

总而言之,工作总体思路就是首先采用高精度磁力仪和伽玛能谱仪进行扫描,摸清研究区矿化的平面分布范围,并且用偏提取化探对物探结果进行验证约

束,再根据所得出的矿化平面分布状况布置高密度电法剖面勘探线,研究垂向上矿化的分布情况。

### 3 野外数据采集

#### 3.1 高精度磁法测量

野外测量使用的是美国生产的 G-816 型磁力仪,其灵敏度为 1 nT,采样率大约为 1 次/1~3 min,每点测量三次,取平均值。在 1:2000 地形地质图上设计地面磁法测线,测线方向基本垂直剪切破碎带走向,线距为 200 m,点距为 10 m(相当于 1:1 万测网),同时用 Garmin 手持 GPS 进行导航定位。在测量过程中,有测值变化较大处,点距加密到 5 m。野外测量期间严格按规范要求遵守仪器操作规程。在测量时,还应注意观察地质现象,随时测量露头岩石标本的磁化率数据,遇到磁场变化异常处,加密测点,以便准确地确定异常形态和位置。

#### 3.2 伽玛能谱测量

野外测量使用的是中国核工业三所研制的 H-90B 型微机伽玛能谱仪,根据沙坡岭矿区地表基岩出露情况、地形情况,我们选择的测量路线基本沿沟谷和山脊进行,线距 100 m,点距 50 m。用手持 GPS 结合地形图定点,测量了 200 个基岩露头点的 U、Th、K、放射性总量计数率等参数。为使测点数据真实全面地反映测区岩石中 U、Th、K 三个元素的分布情况,布线布点时既要考虑大体均一,又要在实测时尽量照顾到各种岩石类型及蚀变类型,对重点区段更是要加倍注意,加密测量,实时对比。这样既可满足所测数据的代表性真实性,又尽可能多地捕捉到与成矿有关的重要信息。

#### 3.3 偏提取化探

在野外人工提取 B 层土壤作为样品,取样重量 500 g,根据沙坡岭矿区地表基岩出露情况、地形情况,我们选择的测线基本沿沟谷和山脊进行,测线间距 100 m,测点间距 50 m。

#### 3.4 高密度电法

野外测量中使用了重庆地质仪器厂生产的 DUK-II 型高密度电法仪测量系统,该仪器由多路电极转换器 DU K-II 和多功能直流电法仪 DZD26 共同组成,野外测线是按照高精度磁法测量和伽玛能谱测量的数据结果,垂直穿越与成矿相关的构造,同时考虑地形因素的影响进行布置。在尽量选择地形起伏较小,保证测量结果的真实有效的前提下布置测线(见图 5)。测量工作布置电极 120 个,电极距 8 m,测线长 960 m。现场经过对比测试,确定采用温

纳装置,测量过程中分两次记录,第一次记录视电阻率,第二次记录视极化率.

#### 4 数据处理及解释

##### 4.1 扫面数据处理解释

磁测数据经正常场、日变等改正后,结合 GPS 点位数据,在室内用 SURFER 软件按照 Krig 处理方法,将数据格式化,取这套太华群变质岩区平均磁场值 51957 nT 作为正常场值,然后制成  $\Delta T$  等值线平面图(见图 2);伽玛能谱数据根据最后在这个地区的测量效果,选择放射性总量和钾含量计数率结合 GPS 点位数据,在室内用 SURFER 软件按照 Krig 处理方法,将数据格式化,然后制成放射性总

量和钾含量计数率等值线平面图(见图 3);偏提取化探取得的样品被送到实验室,采用金属活动态分析,称取 10g 样品,加入 100 ml 蒸馏水,振荡 1 h,静置 24 h 过滤出清液,分析土壤中的有机络合态 Mo 含量,然后用 Surfer 软件根据样品中含量结合 GPS 测得的样品采集点做出 Mo 含量的等值线平面分布图(见图 4).

从高精度磁法测量的结果看(见图 2),该地区变辉长岩、片麻岩、斜长角闪岩均具磁性,混合岩与蚀变岩一般磁性较弱,在图中形成明显的分带,北部高值圈闭基本上与变辉长岩体相吻合,实际测得数据最高值与最低值相差约 1050 nT,作为正常场的变质岩本身也具有磁性,可推断图中低值区就是由

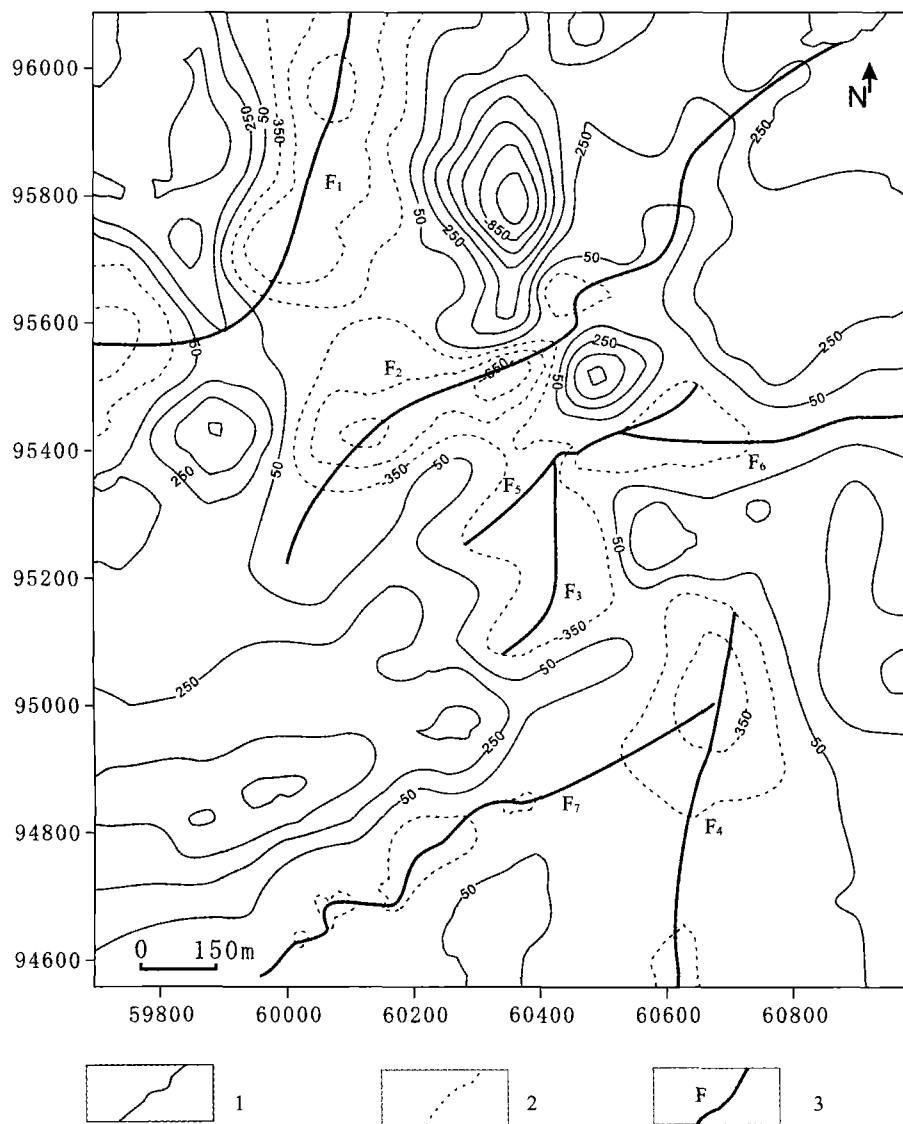


图 2 高精度磁测等值线图

1. 正异常;2. 负异常;3. 断裂蚀变带.

Fig. 2 Isoclines of magnetic anomalies

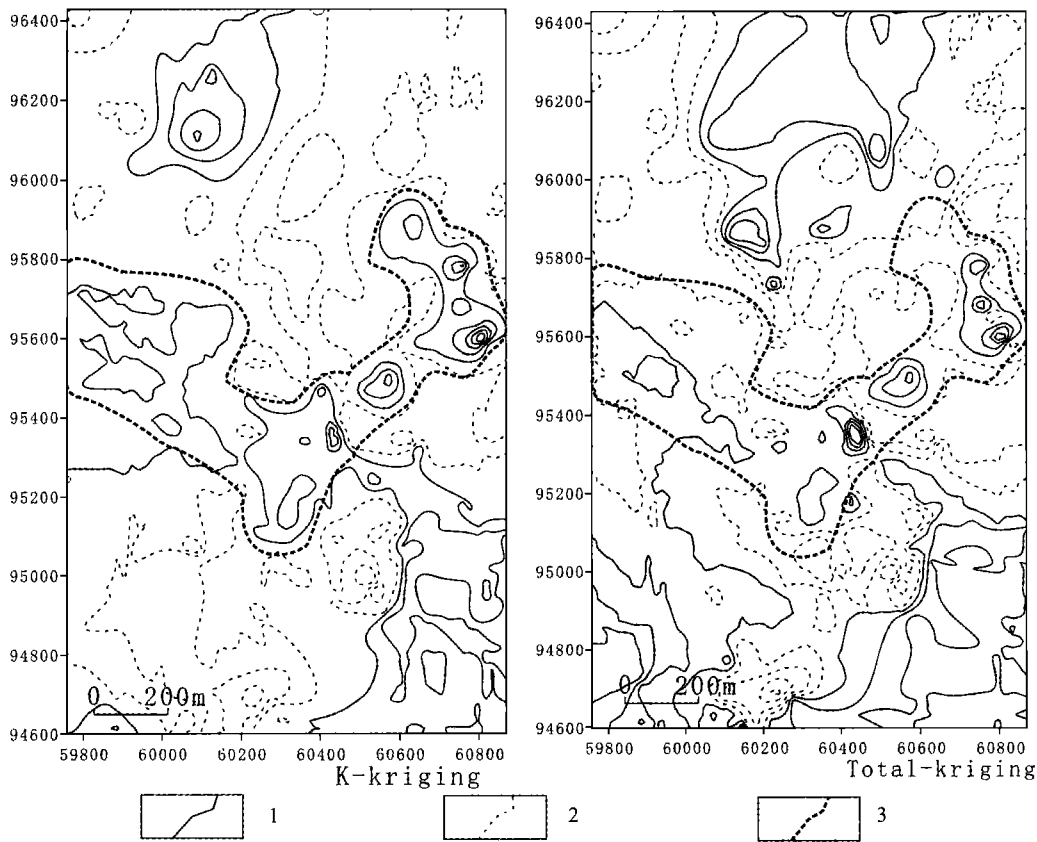


图 3  $\gamma$ 能谱测量 K 和放射性总量等值线图  
1. 高值等值线; 2. 低值等值线; 3. 预测成矿热液蚀变带.  
Fig. 3 Isoclines of the K values and total a mount of Gamma-ray measurements

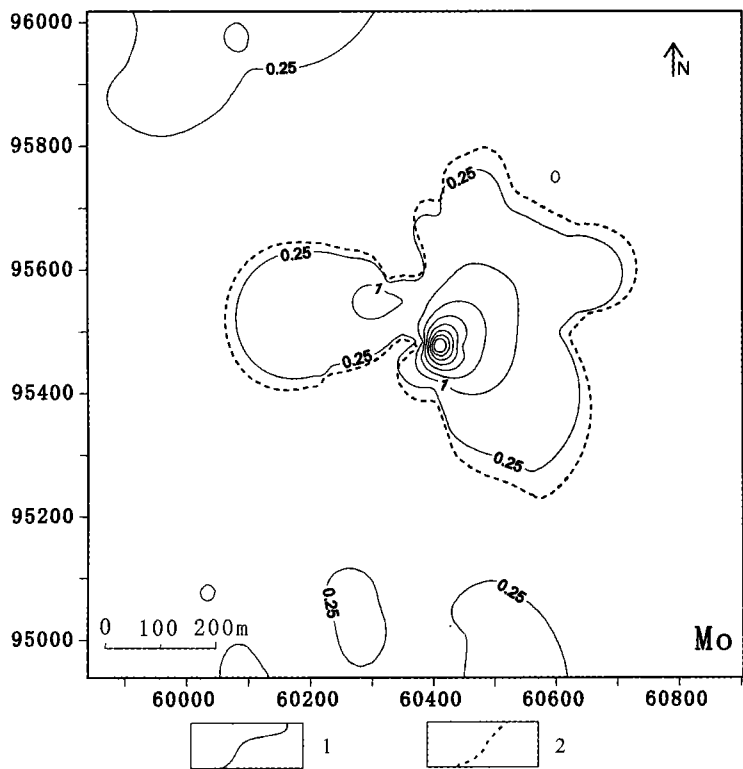


图 4 偏提取化探 Mo 含量等值线图  
1. 等值线; 2. 圈定离子扩散晕.  
Fig. 4 Isoclines of Molybdenum content by partial extraction geochemical survey

于热液侵入围岩发生退磁所引起,钼的矿化点也位于低值区,推测是隐伏断裂蚀变带或者受后期热液退磁形成的蚀变带,已知的地表实测断裂蚀变带 F1、F2、F3、F4 与图中根据低异常推测断裂蚀变带相吻合,只是形态可能有所不同,因为地表看到断裂蚀变带也是断续追踪的,而磁测反映的覆盖层以下的,同时磁测数据也有一定“噪声”干扰,不能精确反映地下形态,但是可以进而推测隐伏断裂蚀变带 F5、F6、F7 存在,这都是有利的导矿容矿构造。

从伽玛能谱测量结果看(见图 3),在放射性总量图中,顶部的异常与钾含量图中的顶部的圈闭异常相对应,东南角异常与钾含量图中东南角异常相对应,前者可能是由于变辉长岩体引起,后者可能是由于研究区南部的花岗岩体所引起,这与野外地质观察相一致。在两个图中可以清晰看到中部有异常呈不连续的串珠状分布,地表钼矿化点就在这个区域附近,据此可以推测出这条蚀变带与成矿流体有着密切关系,用粗虚线勾勒出了这个区块的分布范围。

从偏提取化探结果可以清晰看到该区 Mo 的离子扩散晕(见图 4),这个扩散晕围绕着断裂蚀变带 F2、F5、F6,与磁法测量的低值区相对应,与伽玛能谱测量的高值区部分重叠。众所周知,热液矿床金属矿化往往有一定的分带性,从地势上看,扩散晕异常较低,而伽玛能谱圈出的蚀变带较高,金属矿化的上部主要蚀变特征就是钾化、硅化,进而指示下部隐伏着更密集、品位更好的矿化部位,从而也排除了早期形成的矿化部位被剥蚀的可能。偏提取化探结果很好的验证了磁法和伽玛能谱的测量结果。

综合以上三种方法测量的结果,做出了综合勘探结果平面图,并且为下一步电法布置勘探剖面线提供了科学依据(见图 5)。

#### 4.2 电法剖面数据处理及解释

在扫面数据的结果上布置了高密度电法勘探线(见图 5),本次工作采用温纳装置进行固定断面扫描,断面为倒梯形,用梁光河副研究员(本文作者之一)新改进的电法数据处理软件对数据进行了处理并成图。测量结果中,反映了标高 400~650 m 之间地下电性分布状况,表层约 20 m 之内的电性变化比较乱,没有规律,推测是地表植物和土壤含水量不均匀造成的,这里可以不予考虑,深部在靠近 A 点和靠近中间部位明显存在两个低电阻高极化率的区域,在磁法测量中这两个部位也是负异常区,而且电性突变的部位与断裂蚀变带 F<sub>2</sub>、F<sub>5</sub> 的位置也相吻

合,推测这是有利的矿化密集区,更证明了断裂蚀变带 F<sub>2</sub>、F<sub>5</sub> 对测区内多金属硫化物成矿有一定控制作用。

#### 5 综合物探结果的地质解释与初步验证结果

用高精度磁法扫面,不同于传统寻找磁性体的直接找矿方法,而是利用成矿流体引起岩石蚀变退磁,寻找有利成矿的蚀变带及与成矿有关的断裂构造实现间接找矿,这里不仅反映出了地表断续的已知断裂蚀变带埋藏于地下的形态,如 F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>、F<sub>3</sub>、F<sub>4</sub>,而且根据已知断裂蚀变带形态推测出了隐伏的控矿断裂蚀变带 F<sub>5</sub>、F<sub>6</sub>。伽玛能谱测量的结果圈出了钾化蚀变带,指示了成矿流体是在地表一定范围内,而且蚀变较强,矿化具一定规模,钾化蚀变带也是围绕 F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>、F<sub>3</sub>、F<sub>5</sub>、F<sub>6</sub>,偏提取化探的结果对磁法和伽玛能谱的测量结果一方面进行了验证同时也进行了约束,但是偏提取化探本身也有缺点,它只反映了地表离子晕的形态,与隐伏地下的矿化密集区并无直接对应,而且可能还会发生一定的偏移。偏提取化探的结果与伽玛能谱的测量结果有一定的分带性,这也符合矿化分带规律的反映,但是在 F<sub>2</sub>、F<sub>5</sub>、F<sub>6</sub> 却有一定的重合,这说明地下的矿化密集区在勘探数据中有明显的物化异常显示,钾化和 Mo 的离子晕同时加强,而且同时围绕着 F<sub>2</sub>、F<sub>5</sub>、F<sub>6</sub>。布置的高密度勘探线穿过这个区域并且垂直于 F<sub>2</sub>、F<sub>5</sub> 走向,从测量结果看,首先验证了 F<sub>2</sub>、F<sub>5</sub> 存在,而且在地下约 50 m 处发现了两个低电阻高极化率的区域,磁法数据中同时显示了低磁特征,进而推测这两个异常区域是矿化密集区。

根据预测结果布置了钻孔 Zk01、Zk02(见图 5、图 6),穿过预测区域中心,设计孔深 300 m。Zk01 在 55 m 处见密集细脉,其中辉钼矿、黄铁矿呈星点状、团块状与钾化、强硅化相伴生的,Mo 最高品位达 0.1%,厚度达 1 m、68 m、74 m、86 m 均见到这种品位高于 0.1% 的矿化细脉密集区,总之往下矿化细脉时而密集,时而稀疏,矿化不均匀不连续。Zk02 在 35 m 处见到了 Mo 含量约 0.16% 的矿化细脉密集区,46 m、68 m 处也同样见到了类似的密集区,在 81 m 处见到了品位高达 7.7% 的矿化密集区,总之往下这种密集区还很多,同样是矿化细脉时而密集,时而稀疏,矿化不均匀不连续。钻探结果证实了此前工作的取得的良好效果,同时也预示着深部可能存在着更大的容矿构造和隐伏矿体,以后的工作还将不断进行下去。

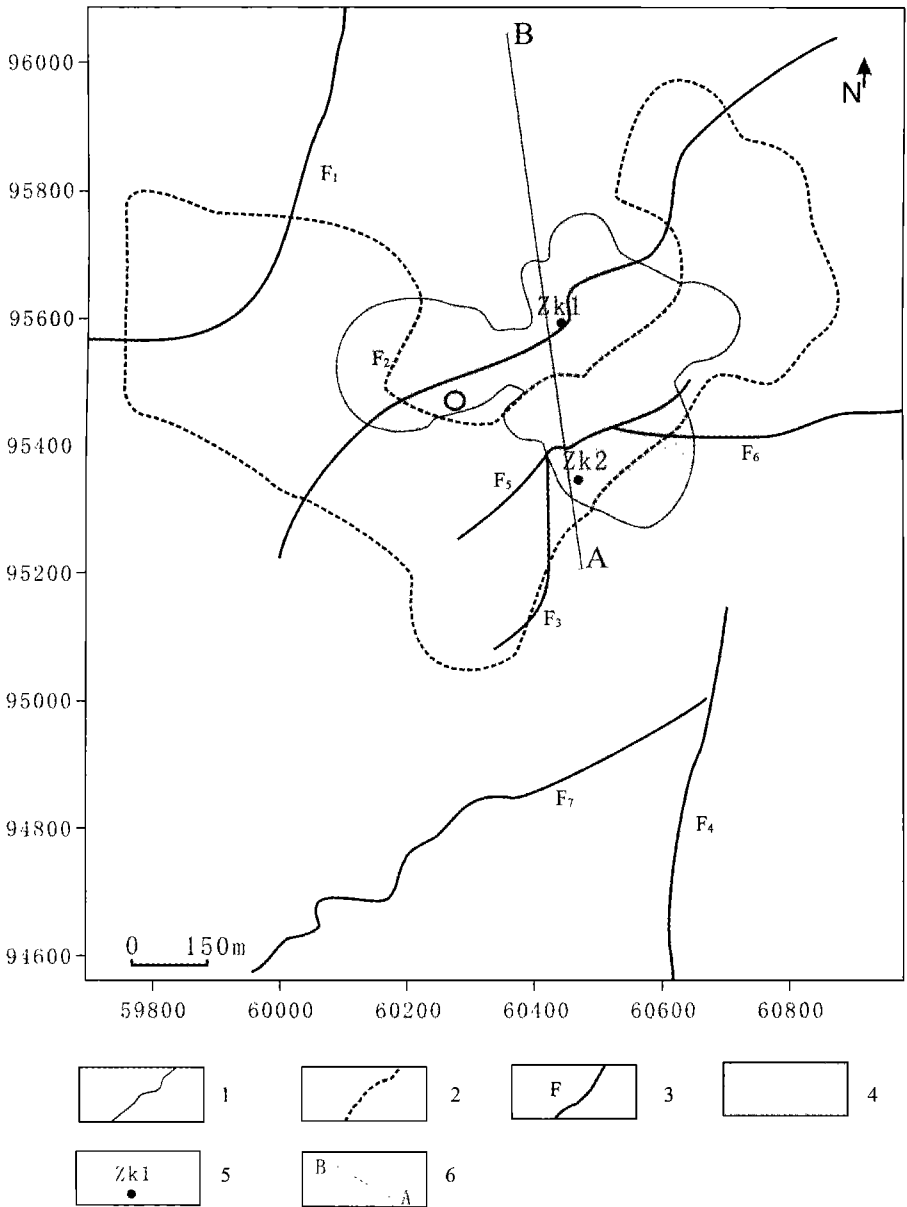


图 5 综合预测平面图及工程布置图

1. 地质界线;2. r 能谱预测结果;3. 断裂蚀变带;4. 偏提取化探预测结果;5. 验证钻孔; 6. 高密度电法勘探线.

Fig. 5 Diagram of comprehensive prediction and engineering arrangement

6 结 论

6.1 本次工作在对研究区进行地质和物性分析的基础上,选用高精度磁法和伽玛能谱测量扫面,从大的成矿靶区中圈定最有利的成矿区域,再针对有利成矿区采用高密度电法剖面测量,从纵向上摸清地下有利矿化位置,再布置钻孔进行验证,快速找到了沙坡岭黄土覆盖区下隐伏的潜在经济价值的矿床. 这项找矿工作的成功也可作为黄土覆盖区寻找 Mo 矿的有效地球物理找矿模式.

6.2 这几种方法操作简单、使用的仪器灵活、轻便,成本低、实用性大,从物探扫面到物探剖面勘探,在沙坡岭矿区取得良好找矿效果. 其中几种扫面方法可以分几支队伍同时进行,大大缩短了勘查周期. 地球物理勘探必须由浅到深,稳扎稳打,建议下一步考虑选用瞬变电磁,CSAMT、MT 等电法仪器,进行深部勘探,开辟沙坡岭第二找矿空间.

6.3 本文是在沙坡岭铅矿区进行的一次综合地球物理找矿尝试. 在实际工作中,针对与成矿有关的不同地质条件不同矿种,还可以采用其他便携仪



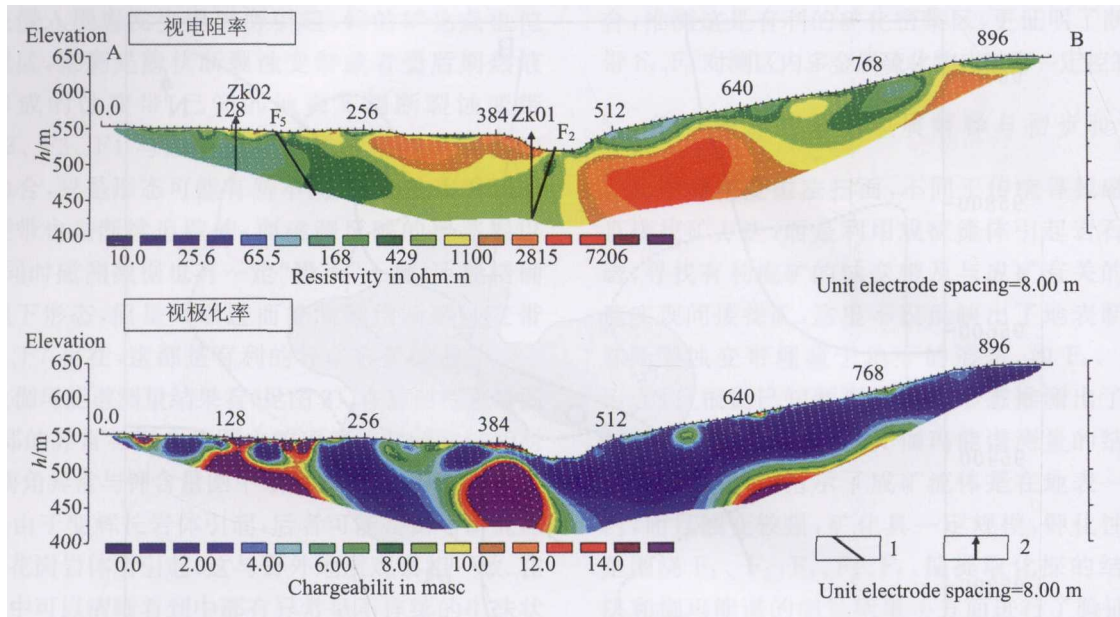


图 6 高密度电法剖面电阻率极化率反演结果及钻孔布置图

1. 断裂蚀变带; 2. 钻孔。

Fig. 6 Inversion results of Resistivity and Chargeability of the section by the High density resistivity method and borehole positions planned

器,比如地形起伏不大可采用甚低频扫面;地下有连续的大范围的硫化物分布,采用激电扫面;位于存在密度差异的两种岩性接触带,可采用高精度重力仪等等。

**6.4 从全国范围来看,像沙坡岭这样的黄土覆盖区还很多,有很大的矿产资源潜力,本文工作仅是在该类型区域找矿的尝试,希望可以引起广大同行的重视,迎来黄土覆盖区找矿的热潮。**

#### 参 考 文 献 (References):

- [1] 刘红涛, 杨秀瑛, 刘建明, 等. 如何开展老矿山后备资源的寻找与定位预测——工作程序与实例分析[J]. 地球物理学进展, 2004, 19(3): 573~582.  
Liu H T, Yang X Y, Liu J M, et al. How to predict and localize potential concealed mineral resources in depths at an aged mining district-working model and case study [J]. Progress in Geophysics, 2004, 19(3): 573~582.
- [2] 刘建明, 于昌明, 刘红涛, 等. 隐伏矿、深部矿透视探测——快速评价的浅层地球物理技术体系. 第八届全国矿床会议论文集[A]. 见: 第八届全国矿床会议论文集(2006)[C]. 北京: 地质出版社, 2006, 689~692.  
Liu J M, Yu C M, Liu H T, et al. Shallow geophysical technology for rapid assessment [A]. Proceedings of 8<sup>th</sup> National Conference of Mineral Deposits, China(2006)[C]. Beijing: Geological Publishing House, 2006, 689~692.
- [3] 郝天姚, 江为为. 综合地球物理方法在山东百里店地区寻找隐伏金矿中的应用. 地球物理学报[J]. 1998, 41(增刊): 401~413.  
Hao T Y, Jiang W W. Application of comprehensive geophysical methods in looking for hidden gold mine in Bailidian region[J]. Chinese Journal of Geophysics, 1998, 41(supp): 401~413.
- [4] 张宝林, 蔡新平, 梁光河, 等. 综合地球物理方法对金矿深部找矿靶区的验证[J]. 地球物理学报, 2002, 45(增刊): 347~355.  
Zhang B L, Cai X P, Liang G H, et al. A combined geophysical test on the deep prospecting target of the Wulaga gold deposit in Heilongjiang, China[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2002, 45(supp): 347~355.
- [5] 刘红涛, 杨秀瑛, 于昌明, 等. 用 VLF, EH4 和 CSAMT 方法寻找隐伏矿——以赤峰紫胡栏子金矿为例[J]. 地球物理学进展, 2004, 19(2): 276~285.  
Liu H T, Yang X Y, Yu C M, et al. A case study in finding concealed ores by using geophysical exploration Methods in combination of VLF-EM, EH4 and CSAMT[J]. Progress in Geophysics, 2004, 19(2): 276~285.
- [6] 徐兴旺, 蔡新平. 隐伏矿床预测理论与方法研究进展[J]. 地球科学进展, 2000, 15(1): 76~83.  
Xu X W, Cai X P. Research advance in prediction theory and methods of concealed mineral deposits[J]. Advance in Earth Sciences, 2000, 15(1): 76~83.
- [7] 刘光鼎, 郝天姚. 应用地球物理方法寻找隐伏矿床[J]. 地球物理学报, 1995, 38(6): 850~854.  
Liu G D, Hao T Y. Searching of hidden mineral deposits by geophysical methods [J]. Chinese Journal of Geophysics, 1995, 38(6): 850~854.
- [8] 蔡新平, 张宝林. 矿床结构模型与某些类型金矿床定位预测

- [J]. 地质科学, 1996, 33(3): 329~337.
- Cai X P, Zhang B L. Texture model of ore deposits and positioning prognosis of some types of gold deposits [J]. Chinese Journal of Geology, 1996, 33(3): 329~337.
- [9] Cai X P, Zhang B L, Qin D J, et al. Regional mineralization of gold and its typical deposits in Southern belt of northern margin of North China fault—block region. In: Jin Chengwei ed. Geology of Main Gold Metallogenic Belts in Northern Part of China[M]. Beijing: Seismological Press, 1996, 78~132.
- [10] 熊光楚. 金属矿区磁法勘探的进展与展望[J]. 地球物理学报, 1994, 37(Supp): 437~443.
- Xiong G C. Development of magnetic exploration searching for metallic ore deposits in China [J]. Chinese Journal of Geophysics, 1994, 37(Supp): 437~443.
- [11] 管志宁. 地磁场与磁力勘探[M]. 北京: 地质出版社, 2005.
- Guan Z N. Geomagnetic field and magnetic exploration[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005.
- [12] 梁德超, 邓军. 地面高精度磁测在胶东某金矿普查区的应用[J]. 地质与勘探, 2000, 36 (3): 67~70.
- Liang D C, Deng J. Application of ground high-precision magnetic measurement to the reconnaissance of one gold mine in Eastern Shandong[J]. Geology and Prospecting, 2000, 36 (3): 67~70.
- [13] 王志光, 崔 毫, 徐孟罗, 等. 华北地块南缘地质构造演化与成矿[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1997.
- Wang Z G, Cui B, Xu M L, et al. Tectonic evolution and Mineralization in the south margin of North China block[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1997.
- [14] 曾庆栋, 沈远超, 张启锐, 等. 伽玛能谱测量与隐伏金矿体预测[J]. 黄金, 1999, 1(2): 4~7.
- Zeng Q D, Shen Y C, Zhang Q R, et al. Gamma-ray spectrometry and prognostication of concealed gold ore body [J]. Gold, 1999, 20(4): 4~7.
- [15] 张宝林, 高浩中, 郝俊杰, 等. 堡子湾金矿区基岩伽玛能谱测量结果及其地质意义[J]. 黄金科学技术, 2001, 2(4): 1~6.
- Zhang B L, Gao H Z, Hao J J, et al. The r-ray spectrometric survey of subaerial rocks in Puziwan gold deposit and its geological significance [J]. Gold Science and Technology, 2001, 2(4): 1~6.
- [16] 程业勋, 王南萍, 侯胜利, 等. 核辐射场与放射性勘查[M]. 北京: 地质出版社, 2005.
- Cheng Y X, Wang N P, Hou S L, et al. Nuclear Geophysical Survey[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005.
- [17] 董浩斌, 王传雷. 高密度电法的应用和发展[J]. 地学前缘, 2003, 10(1): 171~176.
- Dong H B, Wang C L. Development and application of 2D resistivity imaging surveys [J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10(1): 171~176.
- [18] 祁 民, 张宝林, 梁光河等. 高分辨率预测地下复杂采空区的空间分布特征——高密度电法在山西阳泉某复杂采空区中的初步应用研究[J]. 地球物理学进展, 2006, 26(1): 256~262.
- Qi M, Zhang B L, Liang G H, et al. High-resolution prediction of space distribution characteristics of complicated underground cavities—Preliminary application of high-density electrical technique in an area of Yangquan, Shanxi [J]. Progress in Geophysics, 2006, 26(1): 256~262.
- [19] 底青云, 石昆法, 王妙月, 等. CSAMT 法和高密度电法探测地下水资源[J]. 地球物理学进展, 2001, 16 (3): 53~58.
- Di Q Y, Shi K F, Wang M Y, et al. Water resources exploration with CSAMT and high density electric resistivity method[J]. Progress in Geophysics, 2001, 16 (3): 53~58.
- [20] 李金铭. 地电场与电法勘探[M]. 北京: 地质出版社, 2005.
- Li J M. Geoelectric field and electrical exploration [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005.
- [21] 于昌明. CSAMT 方法在寻找隐伏金矿中的应用[J]. 地球物理学报, 1998, 41(1): 133~138.
- Yu C M. The application of CSAMT method in looking for hidden gold mine[J]. Chinese Journal of Geophysics, 1998, 41(1): 133~138.